

Tri Susanto

Perbandingan Sifat Mekanik Fisik Vulkanisat SBR dan SBR/NR Menggunakan Bahan Pengisi Pati Termodifikasi Resorcinol Formaldehyde

PERBANDINGAN SIFAT MEKANIK FISIK VULKANISAT SBR DAN SBR/NR MENGUNAKAN BAHAN PENGISI PATI TERMODIFIKASI RESORCINOL FORMALDEHYDE

THE COMPARISON OF PHYSICO-MECHANIC PROPERTIES OF VULCANIZED SBR AND SBR/NR WITH MODIFIED STARCH USING RESORCINOL FORMALDEHYDE AS FILLERS

Tri Susanto

Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang
Jl Perindustrian II No 12, Sukarami, Palembang, 30152e-mail: 3trisantanto87@gmail.com

Diterima: 26 Februari 2016; Direvisi: 1 Maret- 29 Agustus 2016; Disetujui: 5 September 2016

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan karakteristik vulkanisat komposit Styrene Butadiene Rubber (SBR) dan campuran Styrene Butadiene Rubber dan Natural Rubber (SBR/NR) yang keduanya menggunakan bahan pengisi *starch* (pati) termodifikasi Resorcinol Formaldehyde (SRF) sebagai bahan substituen Carbon Black (CB). Rasio CB/SRF untuk tiap vulkanisat yang digunakan berturut-turut 60/0; 55/5; 50/10; 45/15; 40/20 phr. Pengamatan dilakukan dengan menguji sifat *physico-mechanic* vulkanisat meliputi Kekerasan, Kuat Tarik, modulus 300%, Perpanjangan Putus, dan Ketahanan Sobek, sedangkan karakteristik vulkanisasi dipelajari berdasarkan *cure rate index* (CRI) menggunakan rheometer. Berdasarkan hasil uji sifat vulkanisat SBR dan SBR/NR, dapat diindikasikan bahwa modifikasi SRF dengan *Latex Compounding Method* pada pembuatan vulkanisat SBR dan SBR/NR dapat menggantikan CB secara parsial. Penggantian CB oleh SRF dengan jumlah phr yang sama pada vulkanisat SBR mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada SBR/NR, tetapi berlaku sebaliknya untuk CRI, modulus 300% dan Ketahanan Sobek. Sedangkan, Nilai Kuat Tarik dan Perpanjangan Putus bergantung pada jumlah SRF yang ditambahkan dalam vulkanisat. Secara umum, dapat dikatakan bahwa penambahan SRF menggantikan CB menyebabkan penurunan sifat mekanik fisik vulkanisat SBR maupun SBR/NR, terkecuali untuk parameter *Perpanjangan Putus*.

Kata kunci : pati termodifikasi, *resorcinol formaldehyde*, sifat mekanik-fisik vulkanisat SBR, vulkanisat SBR/NR.

Abstract

This research aimed to study the characteristics of the vulcanized SBR and SBR/ NR using modified starch by resorcinol formaldehyde (SRF) in order to substitute Carbon Black (CB) as fillers. The ratio of CB/SRF for each vulcanized was 60/0; 55/5; 50/10; 45/15; and 40/20 phr. The physic-mechanical testing for both vulcanized were hardness, tensile strength, modulus 300%, elongation at break and tear resistance, while the vulcanization characteristics studied by Cure Rate Index (CRI) using Rheometer. Based on the physic mechanic properties, it can be indicated that modifying SRF by Latex Compounding Method in those SBR and SBR/NR vulcanized may partially replace CB. Replacement CB by SRF in SBR vulcanized yielded the higher value of hardness than SBR/NR vulcanized, but not for the values of CRI, modulus 300% and tear resistance. While, the value of tensile strength and elongation at break were depend on the amount of SRF incorporated in both vulcanized. Generally, it can be said that the addition of SRF that substitutes CB leads to decrease physic-mechanical properties of vulcanized SBR and SBR/NR, except for elongation at break.

Keywords : *modified starch, resorcinol formaldehyde, physical-mechanical properties, SBR vulcanized, SBR/NR vulcanized*

PENDAHULUAN

Barang jadi karet seperti sol sepatu, hak sepatu, ban, *conveyor belt* dan *Vbelt* menggunakan Stirene Butadiene Rubber (SBR) sebagai bahan polimer. Kelemahan dari SBR adalah tidak mempunyai kualitas *self reinforcing* yang bagus NR, vulkanisat stirene butadiene mempunyai sifat daya regang rendah dan sifat kuat tariknya bergantung pada jumlah filler pada saat compounding (Choi, Park, dan Song, 2004). Vulkanisat SBR tahan terhadap pelarut polar seperti asam dan basa, akan tetapi akan mengalami swelling ketika kontak dengan pelarut polar seperti gasoline, minyak dan lemak (Sadhu dan Bhowmick, 2004). Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan polimer lain dalam pembuatan vulkanisat untuk memperbaiki sifat mekanik fisik dari vulkanisat SBR. Karet alam (cis 1,4 poliisoprene) mempunyai keunggulan pada sifat perpanjangan utus maupun ketahanan sobek. Selain ketersediaan lateks yang cukup banyak, lateks alam juga digunakan pada pembuatan barang jadi karet tersebut untuk memperbaiki sifat mekanik fisiknya.

Karakteristik vulkanisat SBR sangat bergantung pada jumlah dan jenis bahan pengisi yang ditambahkan pada saat proses komponding. Sebagian besar barang karet menggunakan bahan pengisi seperti berbagai jenis *Carbon Black* (CB) dengan jumlah sekitar 20-30% sebagai bahan pengisi penguat untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya (Arroyo, Lopez-Manchado, dan Herrero, 2003; Medalia, 1978). CB memiliki keunggulan yaitu ukurannya yang halus mempermudah dispersi partikel kedalam matriks polimer, selain itu ikatan vander wals antara CB dengan matriks polimer akan menguatkan *network filler*, *fraction filler to filler* dan akan meningkatkan nilai kekerasannya. CB merupakan bahan pengisi tidak terbarukan dan proses produksinya memberikan dampak lingkungan yang cukup nyata (Angellier, Molina-Boisseau, dan Dufresne, 2006). Saat ini, terobosan

penggunaan pengisi terbarukan dalam pembuatan barang jadi karet perlu dilakukan untuk mengurangi ketergantungan CB.

Beberapa penelitian *reinforcement filler* terbarukan selain CB yaitu arang dari biomassa lignin (Setua, Shukla, Nigam, Singh, dan Mathur, 2000), carbon dari sekam padi (Sae-Oui, Rakdee, dan Thanmathorn, 2002), abu *bagasse*/ ampas tebu (Kanking, Niltui, Wimolmala, dan Sombatsompop, 2012), biomassa lignin (Setua *et al.*, 2000), dan golongan mineral montmorilonite (Arroyo *et al.*, 2003). Selain itu, penelitian tentang substitusi CB dengan biokomposit pati juga telah dikembangkan pada pembuatan kompon karet (komposit SBR-pati) meliputi pati sagu (Afiq dan Azura, 2013; Sharma *et al.*, 2001), pati kentang (Rajisha, Maria, Pothan, Ahmad, dan Thomas, 2014), pati jagung (Angellier *et al.*, 2006). Saat ini *trend* penelitian pati sebagai bahan pengisi ditekankan lebih kearah *self degradation polymer* pada plastik (Lu, Xiao, dan Xu, 2009). Namun demikian, berdasarkan penelitian oleh (Afiq and Azura (2013); Ashri *et al.*, 2014; Peterson, 2012; Rajisha *et al.*, 2014; Taghvaei-Ganjali, Motiee, Shakeri, dan Abbasian, 2010) pati terbukti dapat digunakan sebagai bahan pengisi pada komposit polimer dengan proses Latex Compounding Method dengan penambahan *coupling agents* / *bonding compounds* seperti phenolic formaldehid, formalin, resorcinol formaldehid dan golongan surfaktan silane. Taghvaei-Ganjali *et al.* (2010) mengungkapkan bahwa coupling agent campuran KH-792 dan RF adalah cukup efektif dalam pembuatan komposit SBR dengan pati sagu. Diungkapkan juga bahwa ratio Amilopektin dan Amilosa berpengaruh positif terhadap proses *rubberization filler*, dimana semakin tinggi amilopektin akan menghasilkan sifat mekanik fisik terutama *Kekerasan*, *Kuat Tarik* dan *Perpanjangan Putus* semakin bagus (Taghvaei-Ganjali *et al.*, 2010). Walaupun demikian, penelitian terkait penggunaan pati dari ekstrak umbi-umbi non pangan belum banyak

dipelajari, hal ini diperlukan karena karakteristik dan jumlah amilopektin dan amilosa akan berbeda dengan pati bahan pangan. Penelitian, modifikasi pati untuk pembuatan komposit SBR/NR belum dikaji mendalam terhadap perubahan sifat fisiknya. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada modifikasi pati menggunakan coupling agent RF untuk pembuatan komposit SBR dan SBR/NR dengan LCM, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan vulkanisatnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan sifat mekanik fisik dari vulkanisat komposit SBR dan SBR/NR akibat penggantian CB menggunakan pati termodifikasi resorcinol formaldehyde (SRF) sebagai bahan pengisi penguat. Penelitian di desain dengan memvariasikan perbandingan CB dengan SRF untuk kedua vulkanisat, sedangkan sifat physco-mechanicnya diamati melalui perubahan nilai kekerasan, kuat tarik, modulus 300%, perpanjangan putus, ketahanan sobek dan karakteristik vulkanisasinya dipelajari berdasarkan *cure rate index* (CRI) menggunakan rheometer. Hasil penelitian berupa formulasi vulkanisat diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi material biokomposit untuk pembuatan produk barang karet.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Lateks SBR 23-25% *weight*, Lateks alam pekat (NR) 55-60% *DRC*, Pati Umbi Gadung (200 mesh), Resorcinol, Formaldehyde, CaCl_2 , NaCl, Asam Stearat, Butil Hidroxy Toluene, Insoluble Sulphur, Zinc Oxide, Carbon Black N550, TMQ, MBTS, Parafin Oil, Parafin Wax.

Peralatan

Open 2 mills, *Pressing rubber*, *Cutting scrub*, neraca analitis, Alat gelas, timbangan mettler p210 kapasitas 1200 g.

Prosedur Penelitian

Preparasi pasta pati gadung

Suspensi 2% pati gadung disiapkan dengan pengadukan mekanik secara cepat pada *water bath* pada suhu 95°C selama 45-60 menit sampai suspensi menjadi bening, kemudian didinginkan.

Modifikasi pati gadung dengan RF

Reaktan Resorcinol: Formaldehid 1:3 (berat) dilarutkan dalam air, kemudian ditambahkan larutan NaOH sampai pHnya mencapai 9. Larutan ini ditambahkan dalam pasta pati, kemudian dilanjutkan dengan pengadukan pada suhu 90-95°C selama kurang lebih setengah jam. Perbandingan pati gadung dan RF yang digunakan adalah 25:3 (berat) untuk semua formula.

Komposit SBR-SRF dan SBR/NR-SRF

Pasta pati gadung ditambahkan dalam lateks SBR dan diaduk secara cepat selama 30 menit pada suhu kamar, kemudian sebanyak 1,0-1,5% larutan CaCl_2 ditambahkan untuk mengakogulasi campuran. Koagulan dicuci dengan air dan dikeringkan dalam oven dalam suhu 80°C selama 18 jam sampai kelembaban minimalnya 2% berat. Keunggulan dari metode pembuatan komposit ini (*Latex Compounding Method*) adalah dapat meningkatkan abrasi resistance komposit dan meningkatkan homogenitas suspensi lateks-pati (Afiaq dan Azura, 2013; Rajisha *et al.*, 2014). Untuk komposit SBR/NR-SRF, lateks NR ditambahkan sesuai dengan rasio berat pada tabel 1 pada saat proses pencampuran lateks.

Pembuatan Vulkanisat dan Vulkanisasi

Bahan pemvulkanisasi, bahan kimia lain (komposisi sesuai tabel 1) dan koagulan komposit SBR-SRF maupun SBR/NR-SRF digiling dengan dengan 2 roll mill pada suhu 50-60 °C selama 45 menit dengan mengacu standard pembuatan kompon karet padat sesuai Medalia (1978). Pembuatan vulkanisat diulang sebanyak 3 kali. Pada analisa karakteristik vulkanisasi, *compound*

divulkanisasi pada waktu optimum *cure time* suhu 160 °C, tekanan 15 MPa.

Pengujian Vulkanisat Karet

Untuk mengetahui sifat mekanik fisik dari vulkanisat maka dilakukan pengujian meliputi: Rotorless Rheometer (ASTM

D5289), Kekerasan (ASTM D2249), Kuat Tarik (ASTM D412), Modulus 300% (ASTM D412), Perpanjangan Putus (ASTM D412) dan Ketahanan Sobek (ASTM D624). Data hasil uji yang disajikan merupakan rata-rata dari 3 kali pengulangan percobaan.

Tabel 1. Formulasi *Rubber Compounding* untuk Vulkanisat SBR dan SBR/NR menggunakan Pati Gadung *Termodifikasi Resorcinol Formaldehyde* (SRF)

NO	Bahan kimia	Komposit SBR-SRF (phr)					Komposit SBR/NR-SRF (phr)				
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5
1	NR/ Lateks	-	-	-	-	-	60	60	60	60	60
2	SBR/Lateks	100	100	100	100	100	40	40	40	40	40
3	Carbon Black N550	60	55	50	45	40	60	55	50	45	40
4	SRF	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
5	ZnO	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	Asam Stearat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	TMQ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	MBTS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Minarex Oil	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
10	Insoluble Sulphur	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
11	BHT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Curing*

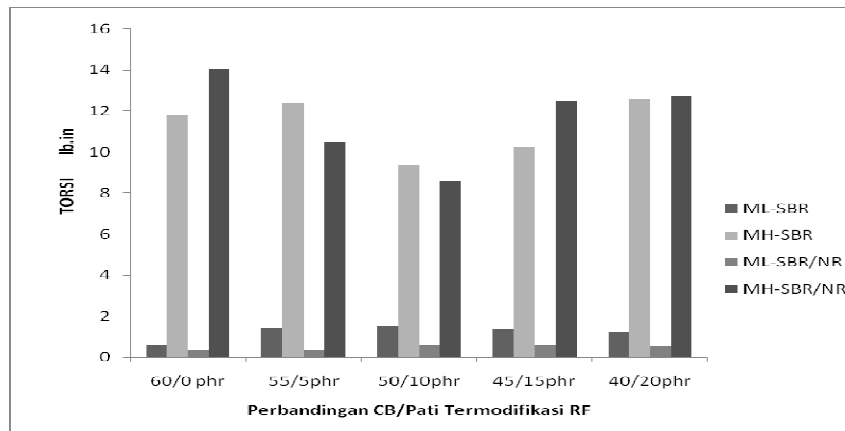
Rubberization filler dalam matriks polimer SBR dan SBR/NR merupakan kunci utama sifat mekanik fisik suatu komposit. Dikarenakan ukuran partikel pati adalah diluar range bahan pengisi penguat seperti Silica maupun CB, maka penambahan pati tanpa dimodifikasi terlebih dahulu hanya berperan sebagai *filler nonreinforcement*. Hal tersebut dikarenakan ukuran partikelnya tidak dapat mendukung pembentukan ikatan sulfur atau ikatan lain yang saling menguatkan dengan polimer karet, yang hanya akan menambah berat dan isi komposit saja (Nakason, Kaesman, Homsin, dan Kiatkamjornwong, 2001).

Dalam hal penggunaan pati sebagai bahan pengisi pengganti CB, maka pati harus dimodifikasi terlebih dahulu untuk meningkatkan kemampuan inkorporasinya dalam matriks polimer. Penentu lain keberhasilan *rubberization filler* adalah komposisi amilosa dan

amilopektin yang terkandung dalam pati yang digunakan. Amilosa adalah rantai linear, amorf yang terikat satu sama lain oleh ikatan $\alpha(1,4)$, sedangkan amilopektin adalah sebagai struktur cabang dengan ikatan tambahan $\beta(1,6)$ yang bersifat kristalin (Ashri *et al.*, 2014). Untuk meminimalisir sifat degradable dan meningkatkan jumlah ikatan silang antara stirene, butadiene, isoprene dengan matriks amylose dan amylopektin dalam komposit SBR, maka starch dimodifikasi dengan coupling agent RF. Kelebihan RF adalah mempunyai 2 sisi yaitu hidropob dan hidrofil yang bertindak sebagai jembatan sekaligus senyawa pengikat yang lebih efektif untuk meningkatkan nilai *kuat tarik* (Angellier *et al.*, 2006; Liu, Shao, dan Jia, 2008; Taghvaei-Ganjali *et al.*, 2010). Selain itu, RF juga berfungsi sebagai *bonding agent* yang kompatibel antara matriks polimer yang bersifat non polar dengan rantai amilosa dan amilopektin yang bersifat polar (hidrofil) (Liu *et al.*, 2008). Sedangkan, untuk memperbaiki

homogenitas dan struktur permukaan komposit maka pati yang digunakan harus dihaluskan hingga ukuran partikel

sekitar 200 mesh. Akan tetapi berbeda untuk pati yang telah termodifikasi.



Gambar 1. Torsi Minimum dan Torsi Maksimum pada Vulkanisat SBR-SRF dan SBR/NR-SRF

Deteksi *crosslinking*, parameter proses vulkanisasi maupun efek penggantian CB dengan SRF dapat dianalisa menggunakan rheometer melalui nilai torsi maksimum dan minimumnya seperti terlihat pada Gambar 1. Derajat pembentukan ikatan silang vulkanisat terlihat dari torsi lelehan karet yang belum tervulkanisasi pada 160°C (Indrajati, Dewi, dan Irwanto, 2012). Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai ML berfluktuasi untuk penambahan SRF kedalam vulkanisat, dimana secara keseluruhan nilai ML vulkanisat SBR sedikit lebih tinggi dibandingkan ML vulkanisat SBR/NR pada penambahan SRF yang sama.

Berdasarkan pola nilai ML pada Gambar 1, dapat diduga bahwa penambahan SRF yang berarti mengurangi jumlah CB dalam vulkanisat akan menyebabkan homogenitas ikatan silang berkurang dan luas permukaan untuk terbentuknya ikatan silang agregat polimer SBR/NR semakin kecil. Dibandingkan dengan vulkanisat yang tersusun dari CB tanpa SRF, agregat polimer SBR pada komposit pati akan sedikit lebih bebas terimobilisasi dan kurang terlokalisasi. Ikatan silang secara fisik terbentuk berdasarkan interaksi polimer dan pengisi, selain itu ikatan kimiawi antara reagensia vulkanisasi,

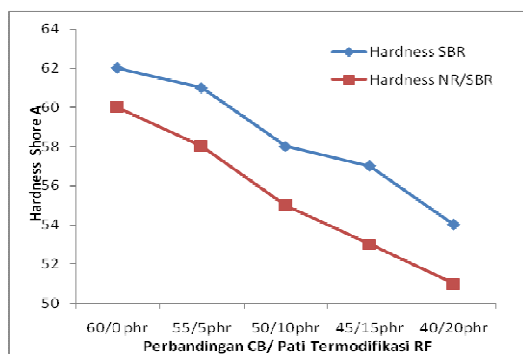
ikatan antara polimer dengan CB (gaya Van der Waals) dan juga sulfur dapat meningkatkan densitas dan kekuatan ikatan silang (Yuniari, 2014). Derajat kerapatan ikatan silang kimiawi vulkanisat dapat dievaluasi melalui nilai selisih torsi maksimum dan minimumnya (Li, Zhang, dan Chen, 2008). Secara umum, derajat kerapatan vulkanisat SBR-SRF cenderung lebih tinggi dibandingkan SBR/NR-SRF pada jumlah CB yang sama. Pada vulkanisat SBR-SRF, penambahan SRF mengakibatkan derajat kerapatan ikatan berfluktuatif dengan kecenderungan sedikit lebih tinggi. Hal yang sama juga teramati pada vulkanisat SBR/NR-SRF.

Tabel 2. Karakterisasi Vulkanisasi (CRI) SBR-SRF dan SBR/NR-SRF

Perbandingan CB/SRF	Vulkanisat SBR – SRF			Vulkanisat SBR/NR-SRF		
	tc10 (s)	tc90 (s)	CRI det ⁻¹	tc10 (s)	tc90 (s)	CRI det ⁻¹
60/0phr	90	766	0.15	234	475	0.41
55/5phr	145	786	0.16	293	482	0.53
50/10phr	155	643	0.20	108	501	0.25
45/15phr	153	637	0.21	101	449	0.29
40/20phr	151	626	0.21	97	415	0.31

Cure time diindikasikan dengan t90 adalah waktu optimum pemasakan 90% komposit pada suhu 160 °C dibawah

tekanan 15 Mpa (Indrajati *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2008). Tabel 2 menunjukkan scorch time dan indeks kecepatan reaksi vulkanisasi (CRI). CRI merupakan pengukuran kecepatan reaksi vulkanisasi berdasarkan selisih waktu vulkanisasi optimum dan waktu scorch. Nilai tertinggi CRI pada komposit SBR-RF adalah pada penggunaan CB/SRF 40/20 phr, sedangkan pada komposit SBR/NR-RF adalah pada penggunaan CB/SRF 55/5 phr. Penambahan SRF pada vulkanisat berdampak pada nilai CRI yang fluktuatif, jumlah penggantian CB dengan SRF akan berpengaruh terhadap kecepatan vulkanisasi komposit. Secara umum, berdasarkan hasil analisa rheometer dapat dikatakan bahwa penggantian CB dengan SRF baik pada jumlah tertentu tidak memberikan efek yang signifikan terhadap pola vulkanisasi vulkanisat dan derajat *cross linking*. Akan tetapi, berdasarkan pola kecenderungannya, dapat diimplikasikan bahwa densitas *cross linking* semakin menurun dengan bertambahnya jumlah SRF yang menggantikan *filler reinforcement* (CB) pada 2 vulkanisat tersebut.



Gambar 2. Pengaruh penggantian CB dengan SRF terhadap Kekerasan Vulkanisat SBR dan SBR/NR

Kekerasan

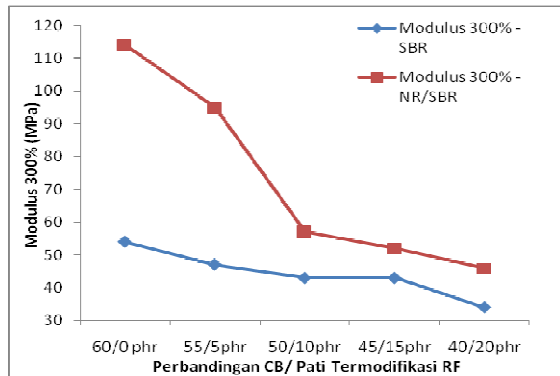
Berdasarkan Gambar 2, semakin banyak penambahan SRF yang menggantikan CB pada vulkanisat SBR maupun SBR/NR, nilai kekerasannya akan cenderung menurun. Penurunan kekerasan berhubungan dengan berkurangnya densitas ikatan silang dalam matriks polimer, hal serupa juga dikemukakan pada penelitian (Liu *et al.*,

2008) bahwa kekerasan vulkanisat karet dipengaruhi oleh adanya jumlah optimum dari penambahan bahan pengisi penguat yang meningkatkan kekerasan. Efek *reinforcement* SRF belum dapat dikatakan sebgus CB, hal ini dikarenakan morfologi pati meliputi ukuran, porositas, karakteristik permukaan yang tidak sebgus CB sehingga tingkat dispersi dan kerataan dalam matriks polimer masih lumayan rendah. Efek lain yang terjadi adalah semakin menurunnya ikatan kimiawi seperti gaya Van der Waals dikarenakan luas permukaan kontak CB dalam polimer berkurang, selain itu densitas *cross linking* berkurang akibat polimer SRF yang berukuran besar menghalangi ikatan silang sulfur. Berdasarkan hal tersebut, efek *reinforcement* SRF tidak didapatkan sepenuhnya melainkan sifat viskoelastisitas pati yang meningkat, sehingga jaringan matriks polimer dan fraksi polimer ke pengisi juga semakin turun yang berakibat vulkanisat yang dihasilkan kurang kaku dan tidak sekeras pada penggunaan CB. Secara umum, pada penggantian CB yang sama, kekerasan vulkanisat SBR sedikit lebih tinggi sekitar 2-3 ShoreA dibandingkan SBR-NR, hal ini dikarenakan sifat isoprene (karet alam) yang lebih elastis.

Modulus 300%

Kecenderungan efek penggantian CB dengan SRF untuk nilai modulus 300% adalah hampir sama dengan penurunan nilai kekerasan untuk 2 jenis vulkanisat. Pada gambar 3, nilai modulus 300% vulkanisat NR/SBR secara umum lebih tinggi dibandingkan murni SBR, dimana nilai tertingginya yaitu 60phr CB adalah sekitar 115 MPa sedangkan pada SBR murni hanya 55 MPa. Apabila dibandingkan dengan syarat tertentu vulkanisat barang karet yaitu nilai modulus terendah adalah 30 MPa, maka penggantian CB sebesar 20phr masih memenuhi syarat modulus 300% (Cifriadi dan Kinasih, 2014). Fenomena penurunan modulus akibat berkurangnya CB ditemukan juga pada penelitian (Wu, Qi, Liang, dan Zhang, 2006). Efek

rubberization filler SRF tidak sekuat dan sebugas *cross linking* CB pada vulkanisasi karet, sehingga SRF hanya cenderung menambah volume vulkanisat. Lebih jauh lagi, densitas CB lebih tinggi dibandingkan pati, sehingga semakin banyak SRF yang ditambahkan maka nilai *compression set* pada vulkanisat semakin naik (Sae-Oui *et al.*, 2002; Taghvaei-Ganjali *et al.*, 2010).



Gambar 3. Pengaruh Penggantian CB dengan SRF terhadap Modulus 300% Vulkanisat SBR dan SBR/NR.

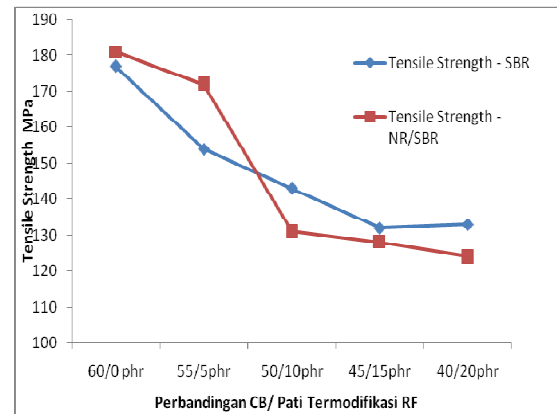
Kuat Tarik

Berdasarkan Gambar 4, penambahan SRF yang menggantikan CB berdampak menurunkan nilai *Kuat Tarik* vulkanisat baik SBR maupun SBR-NR. Nilainya bergantung pada nilai densitas sambung silang dan densitas *cross linking* dalam matriks polimer (Ismail, Rusli, dan Rashid, 2005). Hal ini dapat dilihat bahwa nilai *Kuat Tarik* untuk pengisi murni 60 phr CB adalah sekitar 180 MPa, dengan menurunnya jumlah CB mengakibatkan kurangnya ikatan sambung silang yang menahan gaya dan daya ikat antar matriks pengisi dan polimer.

Perpanjangan Putus

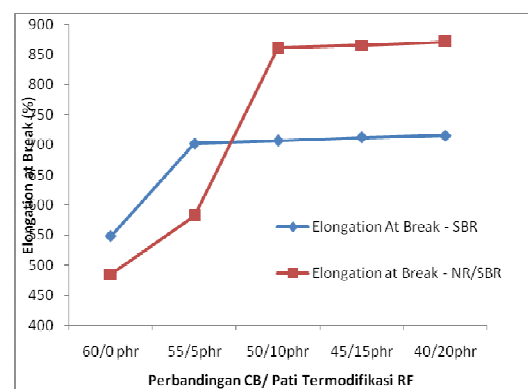
Seperti pada Gambar 5, kecenderungan penambahan SRF akan cenderung menaikkan nilai Perpanjangan Putus, sementara itu kuat tarik makin menurung. Densitas dari ikatan silang CB (*reinforcement filler*) dalam polimer makin menurun akibat

penggantiannya dengan SRF, namun demikian fleksibilitas dari jaringan polimer yang disebabkan oleh terinkorporasinya SRF dengan struktur bercabang mengakibatkan efek viskoelastitas pati sebagai filler pada vulkanisat muncul.



Gambar 4. Pengaruh Penggantian CB dengan SRF terhadap Kuat Tarik Vulkanisat SBR dan SBR/NR

Kuat tarik dan perpanjangan putus adalah sifat utama hasil manifestasi dari densitas ikatan silang dan keseragaman inkorporasi filler dalam matriks polimer, efek CB akan menguatkan sedangkan SRF akan menurunkan sifat mekanik vulkanisat (Liu *et al.* (2008); Medalia, 1978; Sae-Oui *et al.*, 2002).



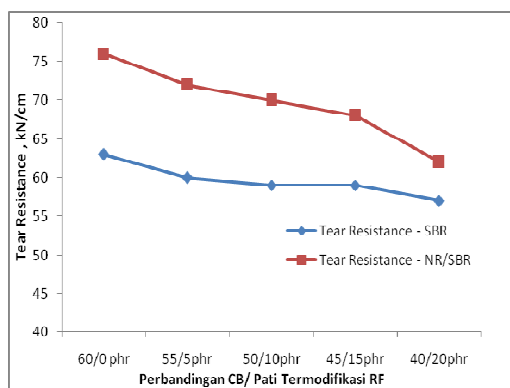
Gambar 5. Pengaruh Penggantian CB dengan SRF terhadap Perpanjangan Putus Vulkanisat SBR dan SBR/NR.

Densitas ikatan silang yang tinggi akan mengakibatkan lebih rapuh dan

sifat elastisitasnya menurun. Perpanjangan putus merupakan sifat terpenting untuk menggambarkan kekuatan dan kekenyalan karet (Ashri *et al.*, 2014; Choi *et al.*, 2004). Pada vulkanisat SBR, penggantian 5phr CB merupakan titik dimana nilai nya 700%, sedangkan pada vulkanisat SBR dibutuhkan 10phr SRF untuk meningkatkan nilai menjadi sekitar 850%.

Ketahanan Sobek

Gambar 6 menunjukkan bahwa ketahanan sobek vulkanisat SBR/NR sedikit lebih tinggi dibandingkan vulkanisat SBR, dan menurun dengan bertambahnya SRF. Tingginya nilai ketahanan sobek merupakan cerminan tingginya energi pemutusan polimer dikarenakan densitas ikatan silang yang optimum dan tingkat kerapatan polimer dan bahan pengisi.



Gambar 6. Pengaruh Penggantian CB dengan SRF terhadap Ketahanan Sobek Vulkanisat SBR dan SBR/NR

Hasil uji ketahanan sobek menunjukkan bahwa pengisi CB yang akan menaikkan nilai ketahanan sobek, kemudian akan menurun landai dengan bertambahnya SRF. Ukuran SRF yang besar dimana pati yang digunakan adalah 200 mesh, maka kenaikan jumlah SRF justru menaikkan jumlah lubang yang tersisa oleh partikel pati pada permukaan matriks polimer, sehingga permukaan menjadi tidak rata, kasar dan berefek pada kekuatan *interfacial* antara

pati dengan matriks polimer komposit lemah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian derajat kerapatan vulkanisat SBR-SRF lebih tinggi dibandingkan SBR/NR-SRF pada penggantian CB oleh SRF dengan jumlah yang sama. Nilai tertinggi CRI pada SBR-RF pada perbandingan CB/SRF 40/20 phr, sedangkan pada SBR/NR-RF pada 55/5 phr. Penggantian CB menggunakan SRF berdampak pada turunnya nilai kekerasan, kekerasan vulkanisat SBR sedikit lebih tinggi sekitar 2-3 ShoreA dibandingkan SBR-NR. Hal serupa juga terjadi pada nilai modulus 300%, ketahanan sobek dan kuat tarik. Hal ini dikarenakan *rubberization filler* SRF tidak sekuat dan sebugus *cross linking* CB pada vulkanisasi karet, sehingga SRF hanya menambah volume. Efek viskoelastisitas SRF pada matriks polimer yaitu meningkatkan nilai perpanjangan putus, tetapi menurunkan ketahanan sobeknya. Penggunaan SRF untuk penganti CB menyebabkan nilai kekerasan, kuat tarik vulkanisat SBR/NR lebih rendah daripada SBR, tetapi berlaku sebaliknya untuk modulus 300%, perpanjangan putus dan ketahanan sobek. Berdasarkan uraian tersebut, penggunaan non edible pati dengan teknik modifikasi LCM menggunakan *bonding agent* Resorcinol Formaldehyde dapat menggantikan CB pada jumlah tertentu. Namun demikian, akan menyebabkan penurunan sifat mekanik fisik, terkecuali untuk perpanjangan putus.

SARAN

Penelitian ini terbatas pada *rubber compounding* karet alam dan sintetis dengan bahan pengisi pati termodifikasi. Perlu diteliti optimasi komposisi SRF untuk substitusi CB pada komposit SBR/NR untuk pemenuhan standard produk barang jadi karet tertentu seperti ban luar kendaraan bermotor, sol karet atau barang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada tim penelitian, Kepala Baristad atas bantuan, dukungan pendanaan dan fasilitas untuk menyelesaikan penelitian dan penulisan karya ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada *reviewers* yang telah memberikan kontribusi ilmiah terhadap tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiq, M., dan Azura, A. (2013). Effect of sago starch loadings on soil decomposition of Natural Rubber Latex (NRL) composite films mechanical properties. *International Biodeterioration dan Biodegradation*, 85, 139-149.
- Angellier, H., Molina-Boisseau, S., dan Dufresne, A. (2006). *Waxy maize starch nanocrystals as filler in natural rubber*. Paper presented at the Macromolecular symposia.
- Arroyo, M., Lopez-Manchado, M., dan Herrero, B. (2003). Organomontmorillonite as substitute of carbon black in natural rubber compounds. *Polymer*, 44(8), 2447-2453.
- Ashri, A., Yusof, M. S. M., Jamil, M. S., Abdullah, A., Yusoff, S. F. M., Arip, M. N. M., dan Lazim, A. M. (2014). Physicochemical characterization of starch extracted from Malaysian wild yam (*Dioscorea hispida* Dennst.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(8), 652.
- Choi, S. S., Park, B. H., dan Song, H. (2004). Influence of filler type and content on properties of styrene-butadiene rubber (SBR) compound reinforced with carbon black or silica. *Polymers for Advanced Technologies*, 15(3), 122-127.
- Cifriadi, A., dan Kinasih, N. A. (2014). PERKEMBANGAN INDUSTRI NANO FILLER UNTUK INDUSTRI KARET DI INDONESIA. *Warta Perkaretan*, 33(2), 113-120.
- Indrajati, I., Dewi, I., dan Irwanto, D. (2012). Pengaruh variasi rasio HAF/SRF terhadap sifat vulkanisat NBR. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 28(2), 59-68.
- Ismail, H., Rusli, A., dan Rashid, A. (2005). Maleated natural rubber as a coupling agent for paper sludge filled natural rubber composites. *Polymer testing*, 24(7), 856-862.
- Kanking, S., Niltui, P., Wimolmala, E., dan Sombatsompop, N. (2012). Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica or carbon black filled natural rubber compound. *Materials dan Design*, 41, 74-82.
- Li, Z., Zhang, J., dan Chen, S. (2008). Effects of carbon blacks with various structures on vulcanization and reinforcement of filled ethylene-propylene-diene rubber. *Express Polym. Lett*, 2(10), 695-704.
- Liu, C., Shao, Y., dan Jia, D. (2008). Chemically modified starch reinforced natural rubber composites. *Polymer*, 49(8), 2176-2181.
- Lu, D., Xiao, C., dan Xu, S. (2009). Starch-based completely biodegradable polymer materials. *Express polymer letters*, 3(6), 366-375.
- Medalia, A. (1978). Effect of carbon black on dynamic properties of rubber vulcanizates. *Rubber chemistry and Technology*, 51(3), 437-523.
- Nakason, C., aesman, A., Homsin, S., dan Kiatkamjornwong, S. (2001). Rheological and curing behavior of reactive blending. I. Maleated natural rubber-cassava starch. *Journal of Applied Polymer Science*, 81(11), 2803-2813.
- Peterson, S. C. (2012). Evaluating corn starch and corn stover biochar as renewable filler in carboxylated styrene-butadiene rubber composites. *Journal of Elastomers and Plastics*, 44(1), 43-54.
- Rajisha, K., Maria, H., Pothan, L., Ahmad, Z., dan Thomas, S. (2014). Preparation and characterization of potato starch nanocrystal reinforced natural rubber nanocomposites. *International journal of biological macromolecules*, 67, 147-153.
- Sadhu, S., dan Bhowmick, A. K. (2004). Preparation and properties of styrene-butadiene rubber based nanocomposites: the influence of the structural and processing parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, 92(2), 698-709.
- Sae-Oui, P., Rakdee, C., dan Thanmathorn, P. (2002). Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, 83(11), 2485-2493.
- Setua, D., Shukla, M., Nigam, V., Singh, H., dan Mathur, G. (2000). Lignin reinforced rubber composites. *Polymer Composites*, 21(6), 988-995.

- Sharma, N., Chang, L., Chu, Y., Ismail, H., Ishiaku, U., dan Ishak, Z. M. (2001). A study on the effect of pro-oxidant on the thermo-oxidative degradation behaviour of sago starch filled polyethylene. *Polymer degradation and stability*, 71(3), 381-393.
- Taghvaei-Ganjali, S., Motiee, F., Shakeri, E., dan Abbasian, A. (2010). Effect of Amylose/Amylopectin ratio on physico-mechanical properties of rubber compounds filled by starch. *J. Appl. Chem. Res.*, 4, 53-60.
- Wu, Y.-P., Qi, Q., Liang, G.-H., dan Zhang, L.-Q. (2006). A strategy to prepare high performance starch/rubber composites: In situ modification during latex compounding process. *Carbohydrate polymers*, 65(1), 109-113.
- Yuniari, A. (2014). *Thermal Swelling and Morphological Properties of Pale Crepe/SBR Blend Vulcanizate*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik.